

# LỌC NƯỚC UỐNG NHIỄM KHUẨN BẰNG MÀNG BACTERIAL CELLULOSE CÓ ĐỊNH BẠC NANO

Võ Công Danh, Nguyễn Thúy Hương\*

## TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tạo màng Bacterial Cellulose (BC) cố định bạc nano làm màng lọc nước uống nhiễm khuẩn. Màng BC hấp phụ bạc nano (BC-Ag) nồng độ 20 ppm trong thời gian 90 phút, sau đó rửa sạch và sấy ở 60 °C trong 40 phút. Ảnh chụp SEM cho thấy các hạt bạc nano phân tán đều và bám chắc vào màng BC. Kết quả lọc nước cho thấy màng BC-Ag có khả năng tiêu diệt 100% vi khuẩn có trong nước. Lượng bạc nano thất thoát là 0,006 mg/l sau 72 giờ lọc, sau 96 giờ lọc không phát hiện bạc trong nước. Nghiên cứu của chúng tôi cho thấy, màng BC cố định bạc nano có thể sử dụng như một vật liệu lọc nước nhiễm khuẩn hiệu quả. Nước sau lọc hoàn toàn đạt tiêu chuẩn về nước uống an toàn của Bộ Y tế Việt Nam.

**Từ khóa:** Bacterial cellulose, bạc nano, nước uống nhiễm khuẩn.

## THE USE OF SILVER NANOPARTICLES-COATED BACTERIAL CELLULOSE FILM FOR BACTERIAL DRINKING WATER FILTRATION

### SUMMARY

In this paper, silver-coated Bacterial Cellulose (BC) film is fabricated and used as a bacterial filter for contaminated drinking water. Flexible BC film is soaked in silver colloidal 20 ppm solutions for 90 min, then washed and air-dried at temperature of 60 °C for 40 min. SEM data illustrates that silver nanoparticles are stable on the BC film. In addition, our results also show that the bacteria are completely killed with antibacterial efficiency of 100% being observed. The concentration of lost silver is 0.006 mg/l after 72 hours of filtering, and silver is not detected after 96 hours, suggesting that silver-coated BC film is an efficient antibacterial material which can be used for drinking water filtration. Taken together, water after being filtered reaches the drinking water quality standards of Ministry of Health.

**Keywords:** Bacterial cellulose, Silver nanoparticles, contaminated drinking water.

### 1. MỞ ĐẦU

Nhiễm khuẩn môi trường nước là một vấn đề cấp bách trên toàn thế giới, đặc biệt tại các nước kém phát triển. Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) đã cảnh báo rằng 80% trường hợp bệnh tật tại các nước nghèo là do nguồn nước bị nhiễm khuẩn [9, 10, 12]. Theo Liên Hiệp Quốc, mỗi năm có 5 đến 10 triệu người chết vì những bệnh do nhiễm khuẩn môi trường nước. Điển hình là bệnh tiêu chảy với khoảng 4 tỷ trường

hợp, làm 1,9 triệu người chết mỗi năm [19]. Tại Việt Nam, bệnh tiêu chảy là nguyên nhân thứ ba gây tử vong nhiều trẻ em dưới năm tuổi, là một trong mười bệnh gây chết người hàng đầu tại Việt Nam, với ước tính 9.400 người chết mỗi năm [20]. Trong một đánh giá chất lượng nước gần đây của Bộ Y tế Việt Nam, chỉ có 29,9% của tất cả các mẫu lấy từ nguồn cung cấp nước sạch đáp ứng các tiêu chuẩn của WHO [22].

\* Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG TP.HCM

Bacterial Cellulose là một cellulose tự nhiên được tổng hợp bởi *Acetobacter xylinum* (*A. xylinum*) đã được nghiên cứu

có độ bền kéo cao, độ đàn hồi và không độc hại [2, 21]. Nhiều nghiên cứu cho thấy có thể tạo màng BC với bề dày tùy ý và có thể dùng trong xử lý nước [15]. Tuy nhiên, bản thân màng cellulose không có khả năng diệt khuẩn [2, 21]. Vì vậy, cần kết hợp màng cellulose vi khuẩn với một chất có khả năng diệt khuẩn để làm màng lọc xử lý nước uống nhiễm khuẩn.

Bạc nano hiện được xem là tác nhân kháng khuẩn hiệu quả với phổ kháng khuẩn rất rộng. Theo nhiều nghiên cứu, bạc nano có thể tiêu diệt khoảng 650 chủng vi sinh vật gây bệnh ở người, kể cả các chủng vi khuẩn kháng kháng sinh [11, 16]. Có thể nói sự kết hợp giữa màng BC với bạc nano sẽ tạo nên vật liệu tiềm năng trong xử lý nước uống nhiễm khuẩn.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

### 2.1. Vật liệu

– *A. xylinum* BC16, *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* sp., *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Streptococcus* sp., *Salmonella enteritidis*, *Bacillus cereus* và bạc nano do Phòng thí nghiệm Bộ môn Công nghệ Sinh học, khoa Kỹ thuật Hóa học, trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh cung cấp.

– Mẫu nước sông Sài Gòn, Thành phố Hồ Chí Minh. Mẫu nước được lấy tại vị trí chân cầu.

– Cả hai môi trường nhân giống và lên men tạo màng BC gồm 2% glucose, 0,2% cao nấm men, 0,2% diammonium phosphate, 0,8% ammonium sulphate. Điều chỉnh pH bằng 5, hấp khử trùng ở 121°C [2]. Môi trường nuôi cấy vi khuẩn gây bệnh: Nutrient Agar, Baird Parker Agar, Xylose Lysine Desoxycholate xuất xứ Ấn Độ.

## 2.2. PHƯƠNG PHÁP

### 2.2.1. Tạo màng BC

Chuyển khuẩn lạc *A. xylinum* từ môi trường thạch nghiêng cho vào ống nghiệm có chứa 10 ml môi trường lỏng, ủ ở 30°C, 24 giờ. Sau đó, cho toàn bộ dịch vi khuẩn ở ống nghiệm vào erlen chứa 40 ml môi trường lỏng, ủ ở nhiệt độ 30°C, 48 giờ. Cuối cùng, chuyển toàn bộ dịch vi khuẩn vào khay lên men chứa 200 ml môi trường lên men ở nhiệt độ 30°C trong 48 giờ [13].

Màng BC sau khi thu hoạch được ngâm và rửa với nước để loại bỏ dịch môi trường. Sau đó, đun sôi trong NaOH 1% (1 giờ) nhằm diệt các tế bào vi khuẩn còn lại và loại bỏ các sản phẩm phụ trao đổi chất, đồng thời tẩy trắng màng [2].

### 2.2.2. Đánh giá chất lượng dịch bạc nano

Chúng tôi tiến hành đánh giá chất lượng dịch bạc nano dựa trên kết quả chụp kính hiển vi điện tử truyền qua (Transmission Electron Microscope – TEM) và khả năng kháng khuẩn.

Kiểm tra hình thái và kích thước của bạc nano bằng phương pháp chụp TEM tại Trung tâm Phân tích Dịch vụ thí nghiệm Tp. HCM.

Khảo sát khả năng kháng khuẩn của dịch bạc nano nồng độ 30 ppm theo phương pháp giếng khuếch tán. Phương pháp này dựa trên nguyên tắc dịch bạc nano khuếch tán vào môi trường nuôi cấy và ức chế sự sinh trưởng và phát triển của vi khuẩn. Thí nghiệm khảo sát trên các vi khuẩn *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* sp., *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* sp., *Salmonella enteritidis*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*. Phương pháp tiến hành như sau: cấy trang 100 µl dịch vi khuẩn có mật độ 10<sup>6</sup> CFU/ml trên thạch đĩa bằng que trang. Đục lỗ có đường kính 6 mm trên thạch bằng que đục lỗ đã được tiệt trùng. Nhỏ dịch bạc nano vào đáy lỗ thạch, ủ 37°C, 12 giờ. Đo đường kính vòng kháng khuẩn [8].

**2.2.3. Khảo sát khả năng kháng khuẩn của màng BC cố định bạc nano**

Màng BC được cắt thành những miếng nhỏ có đường kính 6 mm. Ngâm màng BC trong dịch bạc nano với các nồng độ 10 ppm, 20 ppm và 30 ppm trong thời gian 90 phút. Đặt màng BC hấp phụ bạc nano lên đĩa thạch chứa vi khuẩn ở mật độ  $10^6$  CFU/ml. Ủ đĩa ở 37°C trong 12 giờ [21]. Xác định đường kính vòng kháng khuẩn và so sánh với dịch bạc nano tự do.

**2.2.4. Ứng dụng màng BC-Ag lọc nước uống nhiễm khuẩn**

Mẫu nước sông Sài Gòn sẽ được xử lý thô bằng cách lọc qua bông gòn để loại bỏ các chất bẩn có kích thước lớn. Sau khi xử lý thô, mẫu nước tiếp tục được xử lý qua một lớp giấy lọc MS197 đường kính 0,01 mm nhằm loại bỏ các phần tử có kích thước nhỏ hơn. Cuối cùng, mẫu nước được lọc qua màng BC-Ag hấp phụ dịch bạc nano ở nồng độ 20 ppm. Mẫu nước trước và sau lọc sẽ được kiểm tra tại Viện Pasteur Tp. HCM theo tiêu chuẩn nước uống của Bộ Y tế Việt Nam (QCVN 6-1: 2010/BYT).

Nhằm đánh giá hiệu quả lọc của màng BC-Ag lọc vi khuẩn ở mật độ cao. Chúng tôi tiến hành lọc khi mẫu nước đầu vào chứa  $10^8$  CFU/ml vi khuẩn các vi khuẩn gây bệnh trong nghiên cứu.

**3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN**

**3.1. Đặc điểm màng BC**

Sau thời gian nuôi cấy 48 giờ, chúng tôi thu được màng BC có bề dày 1 mm, tương ứng độ bền kéo 2.6 kg/cm<sup>2</sup> và tốc độ lọc là 33,1 lít.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>. Như vậy, màng BC có đủ độ bền cũng như tốc độ lọc để sử dụng làm màng lọc.

**3.2. Đánh giá chất lượng dịch bạc nano**

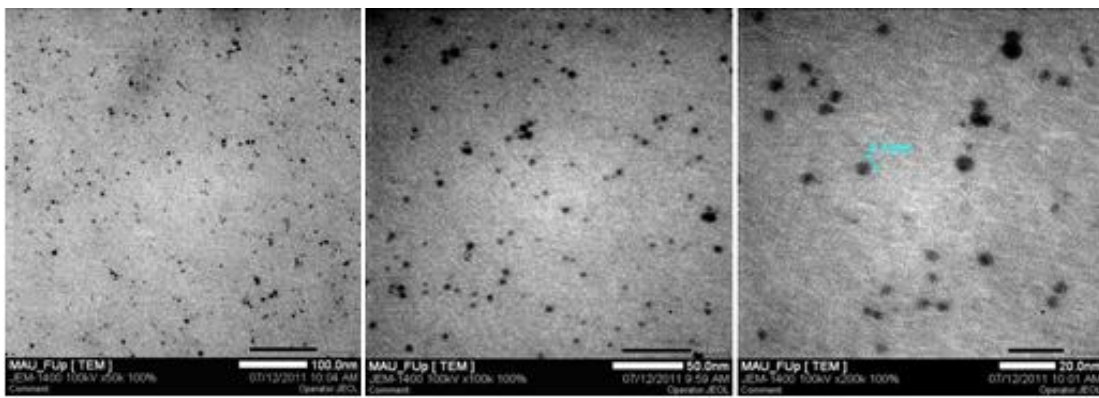
Dựa trên kết quả chụp TEM (hình 1) cho thấy các hạt bạc nano có dạng hình cầu, kích thước hạt khá đồng nhất. Kích thước hạt trung bình là 6,34 nm. Theo Morones và cộng sự, các hạt bạc nano có kích thước từ 1 – 10 nm cho hoạt tính

kháng khuẩn cao [3, 6]. Nghiên cứu của Pal và cộng sự trên vi khuẩn *E. coli* cho thấy hạt bạc nano có dạng hình tam giác cụt cho khả năng kháng khuẩn cao nhất sau đó đến hình cầu và cuối cùng là hạt bạc nano hình gậy [17]. Qua kết quả chụp TEM cũng cho thấy sự phân bố đồng đều các hạt bạc nano trong dung dịch. Như vậy, dịch bạc nano sử dụng trong nghiên cứu của chúng tôi có khả năng diệt khuẩn cao. Có thể ứng dụng trong lọc nước uống nhiễm khuẩn.

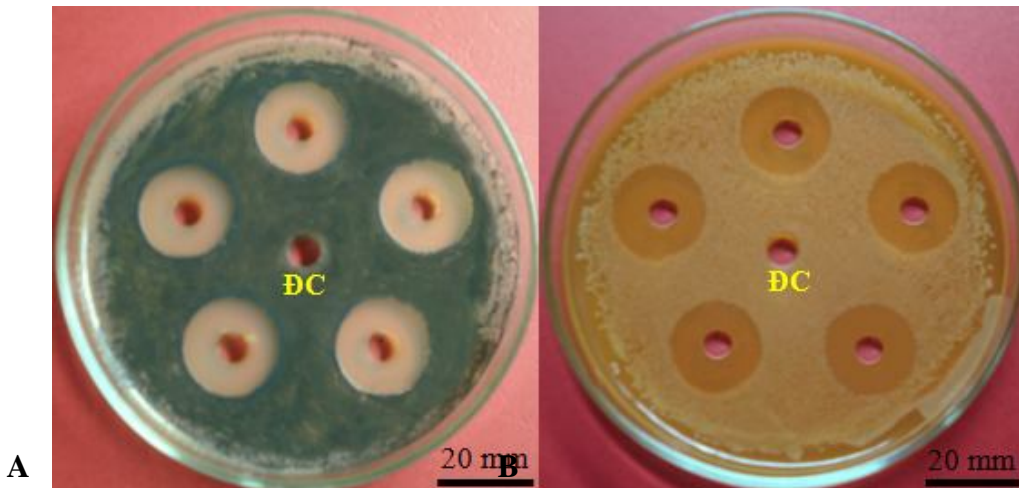
Chúng tôi tiến hành khảo sát khả năng kháng khuẩn của dịch bạc nano ở nồng độ 30 ppm đối với 8 chủng vi khuẩn gây bệnh trong nghiên cứu, kết quả thể hiện ở bảng 1.

**Bảng 1. Kết quả kháng khuẩn của dịch bạc nano**

Vi khuẩn	Gram	Đường kính vòng kháng khuẩn (mm)
<i>E. coli</i>	-	20
<i>P. aeruginosa</i>	-	18
<i>S. enteritidis</i>	-	20
<i>Salmonella</i> sp.	-	17
<i>S. aureus</i>	+	20
<i>B. subtilis</i>	+	14
<i>B. cereus</i>	+	13
<i>Streptococcus</i> sp.	+	16



Hình 1. Ảnh TEM của dịch bạc nano ở mức phóng đại khác nhau



Hình 2. Khả năng kháng khuẩn của bạc nano đối với *Staphylococcus aureus* (A) và *E. coli* (B)

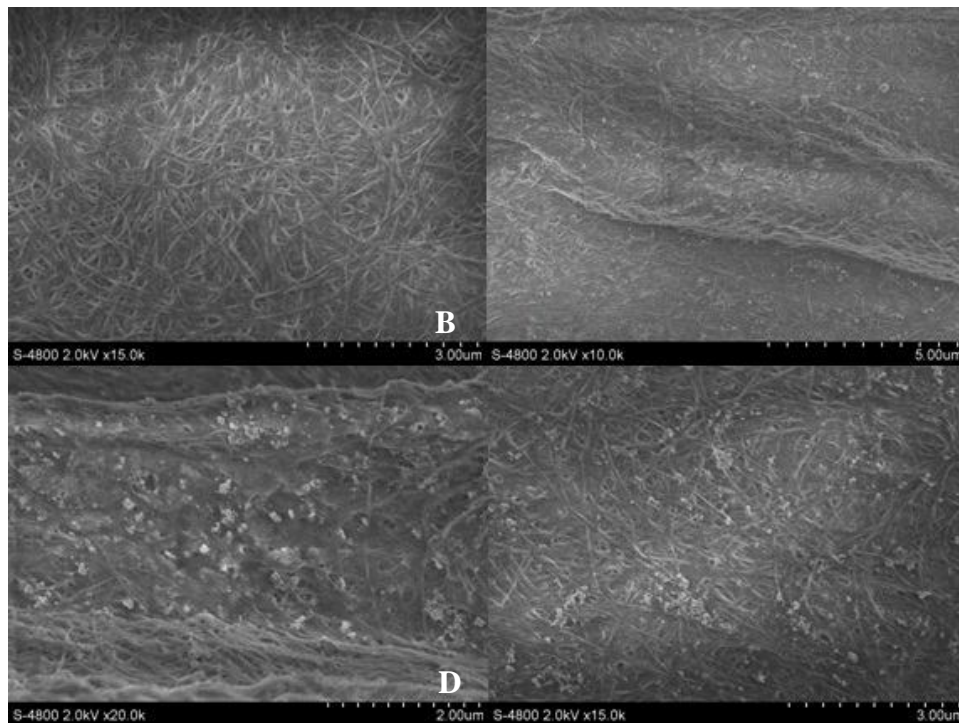
Bạc nano có phổ kháng khuẩn rất rộng bởi vì tác dụng của bạc nano không mang tính đặc thù về bệnh lý giống như thuốc kháng sinh, mà mang tính đặc thù về cấu trúc tế bào. Vì vậy, bất kì một tế bào nào không có lớp màng bảo vệ bền vững về hóa học đều dễ dàng bị bạc nano tác động. Đồng thời, bạc nano tác dụng như một chất xúc tác nên ít bị tiêu hao trong quá trình sử dụng [11].

Bạc nano có xu hướng thể hiện tính kháng khuẩn trên vi khuẩn Gram dương thấp hơn ở vi khuẩn Gram âm. Điều này là do vi khuẩn Gram dương có lớp peptidoglycan khá dày (30 nm), trong khi lớp peptidoglycan ở vi khuẩn Gram âm mỏng hơn rất nhiều (2 – 3 nm) [6]. Cụ thể hơn, peptidoglycan chiếm hơn 50% trọng lượng khô của thành tế bào vi khuẩn Gram dương, trong khi đó ở vi khuẩn Gram âm tỉ lệ này chỉ khoảng từ 5-

10% [8]. Ngoài ra, ở vi khuẩn Gram âm có lớp ngoài là lipopolysaccharide tích điện âm nên hút điện dương của hạt bạc nano [6]. Vì vậy, các hạt bạc nano bám chặt vào thành tế bào vi khuẩn Gram âm hơn các vi khuẩn Gram dương và sự tương tác với lớp peptidoglycan mạnh hơn. Cho nên bạc nano có khả năng kháng vi khuẩn Gram âm cao hơn vi khuẩn Gram dương. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Shrivastava và cộng sự, Taglietti và cộng sự, Ngô Võ Kế Thành và cộng sự [1, 12, 18].

### 3.3. Khả năng kháng khuẩn của màng BC cố định bạc nano

Màng BC sau khi hấp phụ dịch bạc nano được kiểm tra hình thái bằng kính hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscope, SEM). Kết quả cho thấy các hạt bạc nano phân bố đều và bám chắc vào màng BC (hình 3).



**Hình 3.** Ảnh SEM màng BC (A) và bạc nano cố định vào màng BC (B, C, D)

Màng BC sau khi hấp phụ dịch bạc nano ở các nồng độ 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm trong 90 phút. Tiến hành đối kháng với 8 chủng vi khuẩn chỉ thị trong nghiên cứu. Kết quả được thể hiện trong bảng 2.

Từ kết quả trong bảng 2 chúng tôi nhận thấy hoạt tính kháng khuẩn của màng BC hấp phụ

dịch bạc nano ở nồng độ 30 ppm ngang bằng với hoạt tính kháng khuẩn của dịch bạc nano tự do nồng độ 30 ppm. Kết quả xử lý bằng phần mềm Statgraphics cho thấy không có sự khác biệt về hoạt tính kháng khuẩn của màng BC hấp phụ dịch bạc nano ở nồng độ 20 ppm và 30 ppm với mức ý nghĩa 95% (hình 4).

**Bảng 2.** Kết quả kháng khuẩn của màng BC hấp phụ bạc nano

Vi khuẩn	Đường kính vòng kháng khuẩn (mm)			
	Màng BC hấp phụ bạc nano các nồng độ			Bạc nano tự do 30 ppm
	10 ppm	20 ppm	30 ppm	
<i>Escherichia coli</i>	15	19	20	20
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	16	17	18	18
<i>Salmonella enteritidis</i>	17	19	20	20
<i>Salmonella sp.</i>	13	17	17	17
<i>Staphylococcus aureus</i>	17	20	20	20
<i>Bacillus subtilis</i>	0	13	14	14
<i>Bacillus cereus</i>	0	12	13	13
<i>Streptococcus sp.</i>	12	15	16	16

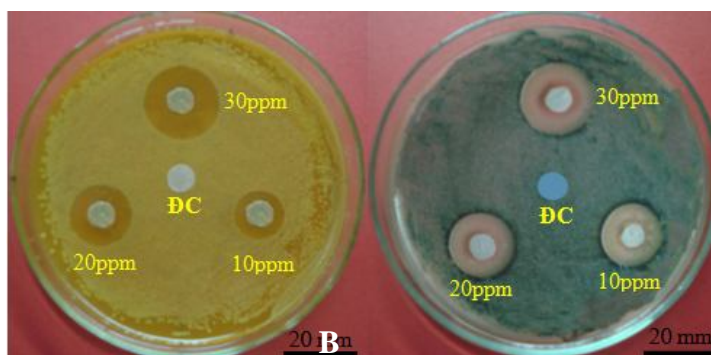
Multiple range analysis for Duongkinh by Nongdo

Method: 95 Percent LSD			
Level	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
10	8	11.250000	X
20	8	16.500000	X
30	8	17.250000	X

contrast	difference	+/-	limits
10 - 20	-5.250000	2.89061	*
10 - 30	-6.000000	2.89061	*
20 - 30	-0.750000	2.89061	

Hình 4. Kết quả phân tích đường kính vòng kháng khuẩn theo nồng độ bằng phần mềm Statgraphics (dấu X xếp cùng cột chỉ sự giống nhau của các nghiệm thức)



Hình 5. Hoạt tính kháng vi khuẩn *E. coli* (A) và *Staphylococcus aureus* (B) của màng BC hấp phụ bạc nano với các nồng độ khác nhau

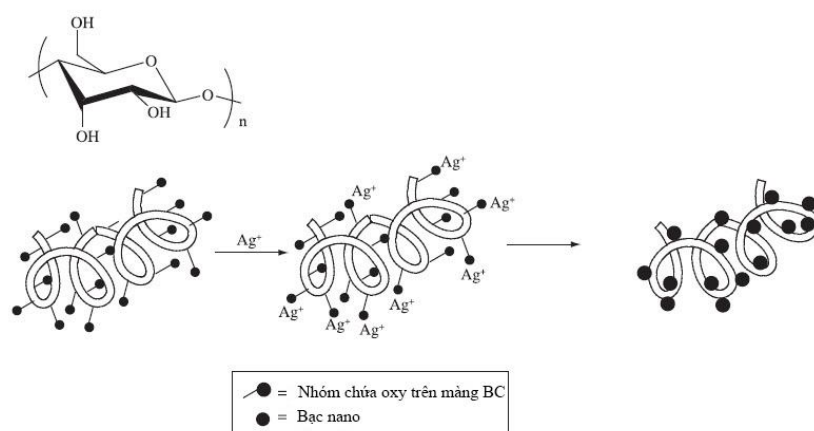
### 3.4. Ứng dụng màng BC-Ag lọc nước uống nhiễm khuẩn

Kết quả kiểm tra vi sinh (bảng 3) cho thấy nước sông Sài Gòn sau khi lọc bằng màng BC-Ag hoàn toàn đáp ứng được chỉ tiêu vi sinh đối với nước uống. Chúng tôi cũng tiến hành kiểm tra dư lượng bạc trong mẫu nước sau lọc tại Trung tâm Phân tích Dịch vụ thí nghiệm Tp. HCM. Kết quả thu được là 0,006 mg/l sau 72 giờ lọc; sau 96 giờ lọc, không phát hiện bạc trong nước. Rõ ràng, mẫu nước sau lọc bằng màng BC-Ag hoàn toàn đạt tiêu chuẩn về nước uống an toàn của Bộ Y tế. Màng BC-Ag vẫn

cho hiệu quả diệt khuẩn 100% sau 500 giờ lọc liên tục. Tuy nhiên, sau 500 giờ lọc, tốc độ thẩm thấu giảm nhanh xuống còn 13,18 lít.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>. Điều này là do các chất có kích thước cực nhỏ lắng tụ làm tắc lỗ màng BC. Lượng bạc nano thất thoát trong quá trình lọc là rất nhỏ. Theo Maria và cộng sự (2010), bạc nano bám chắc vào màng BC là do sự tương tác tĩnh điện giữa ion bạc (do bạc nano giải phóng) và các điện tử của oxy trên mạng lưới BC bởi các cầu nối hydroxyl và ether (hình 6) [4]. Chính yếu tố này giúp bạc nano phân tán đều và bám chắc vào bề mặt màng BC.

**Bảng 3.** Kết quả kiểm tra vi sinh nước sông Sài Gòn trước và sau lọc bằng màng BC-Ag

STT	Chỉ tiêu vi sinh	Kết quả		Đơn vị	Giới hạn
		Trước lọc	Sau lọc		
1	Coliform	100	0	CFU/250ml	0
2	<i>E. coli</i>	100	0	CFU/250ml	0
3	<i>Streptococci</i> phân	100	0	CFU/250ml	0
4	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	48	0	CFU/250ml	0
5	Bào tử vi khuẩn kỵ khí sinh H <sub>2</sub> S	100	0	CFU/50ml	0



**Hình 6.** Hình ảnh minh họa sự gắn kết bạc nano trên màng BC<sup>[4]</sup>

Sử dụng màng BC-Ag lọc nước khi nguồn nước đầu vào chứa 10<sup>8</sup> CFU/ml các vi khuẩn gây bệnh trong nghiên cứu. Kết quả cho thấy 100% vi khuẩn hoàn toàn bị tiêu diệt.

#### 4. KẾT LUẬN

Sau thời gian lên men 48 giờ, chúng tôi tạo được màng BC với độ dày 1 mm với độ bền kéo là 2,6 (kg/cm<sup>2</sup>) và tốc độ thẩm thấu 33,1 lít.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>.

Màng BC sau khi hấp phụ dịch bạc nano có khả năng kháng các loại vi khuẩn: *E. coli*,

*Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enteritidis*, *Salmonella* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus* sp..

Sử dụng màng BC hấp phụ bạc nano ứng dụng trong lọc nước uống nhiễm khuẩn. Màng cho hiệu quả diệt khuẩn 100%, đáp ứng các chỉ tiêu vi sinh và hóa lý theo tiêu chuẩn nước uống của Bộ Y tế. Màng BC cố định bạc nano đáp ứng được yêu cầu làm màng lọc nước uống nhiễm khuẩn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Taglietti, Y.A.D. Fernandez, E. Amato, L. Cucca, G. Dacarro, P. Grisoli, V. Necchi, P. Pallavicini, L. Pasotti, and M. Patrini. Antibacterial Activity of Glutathione-Coated Silver Nanoparticles against Gram Positive and Gram Negative Bacteria. *Langmuir*. 2012; 28: 8140–8148.
- [2] B. Wei, G. Yang, F. Hong. Preparation and evaluation of a kind of bacterial cellulose dry films with antibacterial properties. *Carbohydrate Polymers*. 2011; 84: 533-538.
- [3] J.R. Morones, J.L. Elechiguerra, A. Camacho and J.T. Ramirez. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*. 2005; 16: 2346–2353.
- [4] L.C.S. Maria, A.L.C. Santos, P.C. Oliveira, A.S.S. Valle, H. S. Barud, Y. Messaddeq, S.J.L. Ribeiro. Preparation and Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Impregnated in Bacterial Cellulose. *Ciência e Tecnologia*. 2010; 20: 72-77.
- [5] M.K. Rai, S.D. Deshmukh, A.P. Ingle, A.K. Gade. Silver nanoparticles: the powerful nanoweapon against multidrug-resistant bacteria. *Appl Microbiol*. 2012; 112: 841-52.
- [6] M. Rai, A. Yadav and A. Gade. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology Advances*. 2009; 27: 76–83.
- [7] N.P. Shah et al. Probiotic bacteria. *Food science*. 2000; 8: 563-572.
- [8] Nguyễn Lâm Dũng, Nguyễn Đình Quyến, Phạm Văn Ty. Vi sinh vật học. NXB Giáo dục; 2010.
- [9] Nguyễn Ngọc Dung. Xử lý nước cấp. NXB Xây dựng; 2010.
- [10] Nguyễn Đức Khiển. Môi trường và phát triển. NXB Khoa học và Kỹ thuật; 2001.
- [11] Nguyễn Đức Nghĩa. Polyme chức năng và vật liệu cấu trúc nano. NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ Hà Nội; 2009.
- [12] Nguyễn Thị Phương Phong, Ngô Võ Kế Thành, Phan Huệ Phương. Chế tạo vật liệu mút xốp polyurethane mang các hạt nano bạc (PUAg) sử dụng lọc nước uống nhiễm khuẩn. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ*. 2009; tập 12, số 7: 48-59.
- [13] Nguyễn Thúy Hương. Tuyển chọn và cải thiện các chủng *Acetobacter xylinum* tạo cellulose vi khuẩn để sản xuất và ứng dụng quy mô pilot. Luận án tiến sĩ sinh học, ĐHQG TP.HCM, 2006.
- [14] P. Jain, T. Pradeep. Potential of silver nanoparticle-coated polyurethane foam as an antibacterial water filter. *Biotechnol Bioeng*. 2005; 90: 59–63.
- [15] Phạm Duy Hào, Cao Văn Thắng, Phạm Thành Hồ, Nguyễn Thị Mỹ Lan. Nghiên cứu tạo màng bacterial cellulose làm màng lọc vi sinh. Tóm tắt báo cáo khoa học Trường Đại học Khoa học Tự nhiên TP.HCM, 2006.
- [16] S.L. Percival, P.G. Bowler and J. Dolman. Antimicrobial activity of silver-containing dressings on wound microorganisms using an in vitro biofilm model. *International Wound Journal*. 2007; 4: 186–191.
- [17] S. Pal, Y.K. Tak and J.M. Song. Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Appl Environ Microbiol*. 2007; 27: 1712–1720.



- [18] S. Shrivastava, T. Bera, A. Roy, G. Singh, P. Ramachandrarao and D. Dash. Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles. *Nanotechnology*. 2008; 18.
- [19] T.F. Clasen. Household Water Treatment and the Millennium Development Goals: Keeping the Focus on Health. *Environmental science & technology*. 2010; 44: 7357-7360.
- [20] T.F. Clasen. Developing a national action plan for household water treatment and safe storage in the republic of Viet Nam. 2010.
- [21] T. Maneerung, S. Tokura and R. Rujiravanit. Impregnation of silver nanoparticles into bacterial cellulose for antimicrobial wound dressing. *Carbohydrate Polymers*. 2007; 72: 43–51.
- [22] Wagner Jorgen. Membrane filtration handbook. *Osmonics Inc*. 2001.